

起落架系统技术体系构建研究



孟清河,冯广*,金军,路红伟,冯全磊

中航飞机起落架有限责任公司,湖南 长沙 410200

摘 要:起落架系统技术体系是航空技术体系的重要组成部分,也是起落架系统专业化厂家进行技术发展布局的重要手段之一。通过对起落架系统全生命周期过程、专业划分、产品组成等进行分析,初步构建了考虑起落架系统专业组成、产品分解结构、研发流程活动等因素的多维度立体结构的起落架系统技术体系总体架构,对起落架系统技术体系进行逐级衍生,形成了具体的起落架系统五级技术条目,并提出了以关键技术项为核心的企业技术发展布局,规划了起落架系统技术体系使能文件。对于起落架系统供应商研发体系建设具有指导作用。

关键词:起落架系统;技术体系;关键技术项;技术发展布局

中图分类号:V226

文献标识码:A

DOI:10.19452/j.issn1007-5453.2019.12.010

起落架系统用于飞机停放、起飞、着陆、地面速度和方向控制,吸收飞机着陆撞击和滑跑冲击能量,具有承载大、使用环境恶劣、安全性和可靠性要求高等特点^[1~4],是飞机的关键系统之一。

通过多年发展,国内起落架系统研制能力已有了长足进步,由单纯生产配套发展到大型复杂起落架系统的初步自主设计、试验、制造及服务保障,建立起较为完整的现代飞机起落架系统制造工艺规范体系,并具备新技术、新工艺、新材料初步应用研究能力。但与国际一流起落架系统供应商相比,国内起落架系统供应商研发设计能力还处于起步阶段,仅具备起落架结构、强度、控制系统等专业的基本研发手段,尚未建立基于系统工程方法的复杂起落架系统正向研发设计、集成验证流程,缺乏起落架系统需求管理、功能分析和架构设计等研发手段,基础工艺技术研究、设计优化、生产制造过程管控等能力相对较弱,造成起落架系统产品在寿命、可靠性和安全性方面与国外仍有巨大差距,难以适应国内外的民机市场竞争。

基于历史原因,国内军机起落架系统研制总体分散、专业集中,起落架系统级设计任务主要由各主机所承担,起落架专业化厂家更多的是承担制造任务以及分系统或部件级设计任务。另外,主机所起落架专业设置常拆分为结构、系统两部分,起落架系统多以机载设备而非机载系统的角色出现在飞机机载家族中,而目前国际上主流的航空机载系

统正朝着专业化方向深度发展^[4~7]。因此,积极推进国内起落架系统专业化发展、提升起落架系统供应商研发能力、打造具有市场竞争力的T1级起落架系统供应商,已成为当前起落架产业化发展的重要课题。而起落架系统技术体系,正是起落架系统供应商研发能力体系的有机组成部分,其有效构建将牵引国内起落架技术发展,支撑国内起落架系统技术标准布局,丰富和发展国内航空技术体系。

1 起落架系统技术体系的内涵

起落架系统技术体系是航空技术体系纵向发展的一个分支,是航空器机载系统技术体系的重要组成部分^[8~10]。起落架系统技术体系是在继承航空技术体系的基础上,专门研究起落架系统在设计、制造、试验、使用、综合保障服务等活动的理论、方法和技巧的综合体,是特定的针对起落架系统型号研制和科研管理需要,按起落架系统的结构层次和其内在关系形成的技术图谱。

从全生命周期过程的角度,起落架系统技术应涵盖起落架系统设计技术、制造技术、试验技术、服务保障技术;从专业划分角度,起落架系统技术应涵盖起落架总体、液压系统、控制系统、强度载荷、结构、适航、“六性”等专业技术;从产品分解结构角度,起落架系统技术一般涵盖主起落架子系统(ATA 32-10)、前起落架子系统(ATA 32-20)、起落架

收稿日期:2019-10-11; 退修日期:2019-10-29; 录用日期:2019-11-20

*通信作者. Tel.: 0731-82719825 E-mail: fengguang572@163.com

引用格式: Meng Qinghe, Feng Guang, Jin Jun, et al. Study on the technical architecture of landing gear system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(12): 66-71. 孟清河,冯广,金军,等. 起落架系统技术体系构建研究[J]. 航空科学技术, 2019, 30(12): 66-71.

收放子系统(ATA 32-30)、机轮刹车子系统(ATA 32-40)、前轮转弯子系统(ATA 32-50)、位置告警与指示子系统(ATA 32-60)等分/子系统技术^[1]。当然,在学科知识上,起落架系统技术亦涉及了机械、电子、液压流体、力学、控制、材料等学科技术。

总之,起落架系统技术体系是覆盖起落架系统各专业学科、整个产品结构、全生命周期过程等的多维度、网络状技术综合体。

2 起落架系统技术体系现状

近年来,国内民机产业得到了长足的发展,ARJ21-700、C919、CRJ929等型号相继上马。国内起落架供应商虽与国外供应商成立合资公司共同承担C919起落架系统研制任务,但是设计主动权基本由国外供应商所掌握,国内供应商仅承担一些部件设计工作。在合作中,国外供应商以覆盖起落架全系统且贯穿系统级至零件级的丰富完善的企业设计指南/规范/标准为代表的软实力,令人印象深刻。

反观国内,起落架系统技术发展缺乏系统性的规划,技术方向与技术能力存在诸多薄弱环节,尚未形成完整的技术体系,主要表现在:

(1) 起落架系统需求工程方面,需求分析与分解不完整、不规范、不全面,运行场景、适航衍生需求识别不充分,缺乏完整的需求确认策划、实施、追踪方法与能力,常以对主机输入开展专家设计评审的形式开展需求确认,需求确认不充分。

(2) 起落架系统架构设计方面,架构设计常以经验为主,架构设计、权衡与优化方法不完整,侧重物理接口控制缺乏功能接口定义。

(3) 起落架系统方案设计方面,通用质量特性设计与系统设计脱离、数据缺乏积累、系统级分析经验能力不足、平台工具缺失,对子系统/设备设计、工艺缺乏细化管控,起落架系统高/低温缓冲性能分析、机构刚度设计、系统线缆布置、蓝油介质产品设计、仿真模型校准等能力不足。

(4) 起落架系统制造技术方面,起落架结构表面完整性、深长孔/复杂型腔检测、数字化加工装配、先进工装设计技术有待提升,基础工艺研究薄弱,设计、工艺协同性较差。

(5) 起落架系统集成与验证方面,缺乏系统集成仿真、交联耦合验证、温度与载荷综合环境及环境适航符合性验证条件与能力,集成验证人员、技术、工装、设备方案、过程控制能力较弱。

(6) 起落架系统构型管理方面,缺乏完整的系统各层

级全过程构型管理体系和有效的信息化平台支撑,追溯性差,构型纪实、差异评估、构型呈现困难。

(7) 起落架系统研制过程控制方面,系统研制全过程识别不细致,门禁规划颗粒度较粗,技术计划不完整,有效性、合理性、可执行性差,缺乏设计验证与适航过程完整、规范、细化的过程控制程序与方法。

总体上看,起落架系统技术体系与以ARP 4754A、ARP 4761为代表的民机系统工程方法对先进飞机起落架系统要求及对应技术需求存在较大差距。加强起落架系统技术体系的研究,识别关键技术,开展技术发展布局,是起落架系统供应商当下建设研发体系、提升核心能力亟待解决的问题。

3 起落架系统技术体系的构建

3.1 起落架系统技术体系总体架构

根据其内涵的分析,起落架系统技术体系总体架构是以起落架系统技术域为纲领及骨架、以起落架系统专业技术族为模块、以起落架系统技术条目为纽带、以起落架系统关键技术项为核心、以起落架系统技术体系使能文件为支撑的纲举目张、多维立体、核心突出的多层次结构(见图1)。

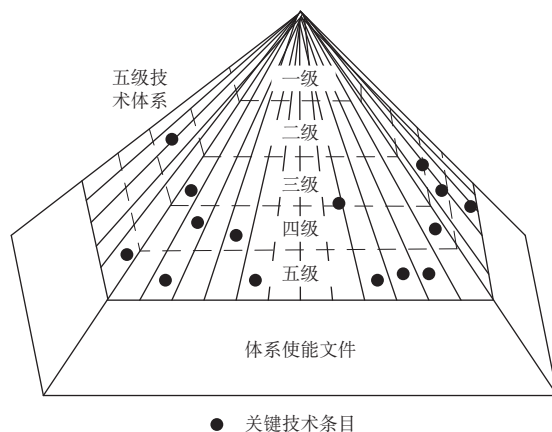


图1 起落架系统技术体系架构

Fig.1 Landing gear technical architecture

起落架系统技术域按其全生命周期过程分为起落架系统设计技术、起落架系统试验技术、起落架系统制造技术和起落架系统服务保障技术。相应技术域内,按起落架系统专业划分为不同的专业技术族,如在起落架系统设计技术域内又包含起落架系统总体设计技术、起落架结构设计技术、起落架控制系统设计技术,起落架系统制造技术域内大体上可划分为起落架机加装配技术、起落架特种工艺技术、

起落架材料技术等;在每一专业技术族内,根据专业特征,考虑起落架产品结构(如前/主起落架子系统、收放子系统、前轮转弯子系统等)及研制过程(如需求工程过程、安全性评估过程、构型管理过程等),将起落架系统专业技术逐级分解为具体的技术条目。

同时,根据企业自身技术发展规划、技术成熟度、型号研制经验、产品重要度等要素,对具体的起落架系统技术条目进行综合分析 with 评估,形成起落架系统关键技术项。起落架系统技术体系使能文件是支撑起落架系统技术体系的指南性、规范性、标准性文件(含其规定或推荐的工具、模板、表单、实例等),是指导起落架系统开展研发活动的技术知识化基础,是起落架系统技术体系的载体。

3.2 分层分级的起落架系统技术体系

按照起落架系统技术体系总体架构,将起落架系统技术域作为一级技术条目,将起落架系统专业技术族作为二级技术条目,三级及三级以下技术条目根据产品分解结构(WBS)、研制流程与活动等逐级向下衍生,根据目前的研究成果,起落架系统技术条目衍生至五级,五级技术条目呈树状分布。

在调研了国内外多种机型的基础上,结合企业发展规划,目前梳理了起落架系统技术条目共 671 条,其中一级技术条目 4 条,二级技术条目 16 条,三级技术条目 68 条,四级技术条目 320 条,五级技术条目 263 条。需要指出的是,根据未来新技术、新材料的发展以及企业发展规划的进步,以上起落架系统的技术条目将会不断迭代更新。

本文仅以起落架系统设计技术为例,阐述起落架系统分层分级的技术体系。如上文所述,起落架系统设计技术按照专业划分二级技术条目,分别为起落架系统总体设计技术、起落架载荷设计技术、起落架结构设计技术、起落架强度设计技术、起落架控制系统设计技术以及起落架系统综合设计技术,见表 1。

起落架系统三级设计技术按专业分类,从军、民机研制

表 1 起落架系统设计技术一、二级技术条目
Table 1 Landing gear system design technology level 1 and level 2 items

一级	二级
起落架系统设计技术	起落架系统总体设计技术
	起落架载荷设计技术
	起落架结构设计技术
	起落架强度设计技术
	起落架控制系统设计技术
	起落架系统综合设计技术

流程、研制活动或产品结构等维度上进行衍生。以起落架总体设计技术为例,起落架系统总体从研制流程和活动上包含了顶层研制工作策划、需求开发和确认、起落架总体方案设计、重量(质量)控制、构型管理等,因此起落架系统总体设计技术包含了起落架系统顶层策划技术、起落架系统需求工程技术、起落架布局设计与分析技术、起落架系统总体方案设计技术、起落架系统成品选型计算及评估技术、起落架系统重量控制技术、起落架系统环境适应性定义与评价技术、起落架系统关联设计以及起落架系统技术状态管理,见表 2。

表 2 起落架系统总体设计技术二、三级技术条目
Table 2 Landing gear system general design technology level 2 and level 3 items

二级	三级
起落架系统总体设计技术	起落架系统研制顶层策划技术
	起落架系统需求工程技术
	起落架布局设计与分析技术
	起落架系统总体方案设计技术
	起落架系统成品选型计算及评估技术
	起落架系统重量控制技术
	起落架系统环境适应性定义与评价技术
	起落架系统设计关联技术
	起落架系统技术状态(构型)管理

与三级设计技术相似,起落架系统四级、五级技术条目也是按产品分解结构(WBS)、研制流程和研制活动衍生而来。例如,按照 ARP 4754A 中规定的民机研制流程以及适航要求,起落架系统顶层策划技术衍生的四级技术包括起落架系统研制计划、起落架系统需求确认计划、起落架系统需求验证计划、起落架系统安全性评估计划、起落架系统构型(技术状态)管理计划、起落架系统研制过程保证计划、起落架系统合格审定(支持)计划(CP/CSP)、起落架系统“六性”工作计划、起落架系统需求管理计划以及起落架系统成品及电子元器件管理计划,见表 3。

3.3 起落架系统关键技术项

如前文所述,起落架系统关键技术项按照成熟度、重要性、企业自身的技术发展规划等维度的因素综合权衡梳理而来,目前共梳理起落架系统关键技术项 65 项。以起落架总体设计技术关键技术为例,系统工程双 V 模型目前正广泛在航空行业推行,特别是基于模型的系统工程(MBSE)目前广泛被各大主机厂所提倡,其中最重要也是最基本的技术是需求的开发和确认,其流程、方法目前在国内大多数

表3 起落架系统总体设计技术三、四级技术条目
Table 3 Landing gear system general design
technology level 3 and level 4 items

三级	四级
起落架系统研制顶层 策划技术	起落架系统研制计划
	起落架系统确认计划
	起落架系统验证计划
	起落架系统六性工作计划
	起落架系统安全性评估计划
	起落架系统技术状态(构型)管理计划
	起落架研制过程保证计划
	起落架系统合格审定(支持)计划(CP/CSP)
	起落架系统需求管理计划
	起落架系统成品及电子元器件管理计划

从事航空工业的单位还未成熟应用,因此基于MBSE的起落架系统需求分析在成熟度、重要性以及企业技术发展规划等维度占比很高,将其划分为关键技术项;起落架系统布局设计与分析技术是起落架系统级供应商必须具备的技术之一,同时该项技术的发展和创 新也会引领起落架系统突破现有技术屏障,从重要性和技术发展规划的维度上考虑,该项技术也被划分为关键技术项。根据权衡分析,起落架总体技术梳理出关键技术6项,具体见表4。需要指出的是,某些技术条目虽然很重要,但是若不在企业的技术发展规划范围内,可以不将该项技术划分为关键技术项,如机轮和刹车装置的设计技术,在新型号飞机研制过程中,机轮和刹车装置是最容易出现故障的设备之一,但是考虑到国内有其他专业的研制单位,且企业本身没有发展该项技术的规划,那么机轮和刹车装置设计技术可以不划为关键技术。同时,一旦企业技术规划发生改变,关键技术项也应相应更新。

表4 起落架系统总体设计技术关键技术项
Table 4 Landing gear system general design
key technology items

二级	关键技术项
起落架系统 总体设计技术	基于MBSE的起落架系统需求分析
	起落架布局设计与分析综合权衡技术
	基于需求的起落架系统技术指标分解及论证
	基于MBSE的起落架系统架构设计
	基于技术成熟度的技术风险评估技术
	起落架系统方案权衡与评估技术
	起落架系统成品选型综合分析及评估技术
	起落架材料和工艺选择及评估技术

3.4 起落架系统技术体系使能文件

起落架系统技术体系使能文件是起落架系统技术体系得以真正落地,指导技术人员进行起落架系统设计、生产、试验的技术及管理文件,是企业研发体系规范性文件的重要组成部分。起落架系统技术体系使能文件包括起落架系统设计指南/规范/标准、起落架系统制造工艺规范、起落架系统试验指南/规范/标准、起落架系统服务保障指南/规范等,具体根据梳理的 五级起落架系统技术条目,按照专业及研发流程活动,形成相应的起落架系统技术指南/规范/标准。起落架系统技术体系使能文件的数量和质量决定着企业在行业内的技术实力和地位,是企业技术软实力的具体表现。

3.5 信息化环境下起落架系统技术体系的考虑

基于模型的系统工程工具、需求管理软件、基于模型的设计仿真与综合优化系统、基于模型的虚拟验证平台、基于模型的工艺仿真与优化软件、系统研发协同平台等信息化环境、工具、手段等在起落架系统研制中的采用将极大地丰富和发展起落架系统技术体系的内涵与外延^[12,13]。

一方面,起落架系统技术体系下的实践活动可充分利用信息化环境优势,提升技术体系的作用效能。技术体系使能文件(含其规定或推荐的工具、模板、表单、实例等)可借助信息化平台进行流程化、标准化、自动化,某些技术条目的衍生与实施可综合考虑先进的信息化手段予以深化和细化,使起落架系统技术体系真正成为活的体系、好用管用的体系。

另一方面,充分利用信息化环境下大数据功能,建立由型号研制实践向起落架系统技术体系反馈和知识化的技术体系知识工程。借助信息化平台,通过对起落架系统技术体系下的实践活动中的问题、经验、数据等进行捕获、分析、总结、评估,不断改进起落架系统技术体系及相关数据库,促进起落架系统技术体系的不断迭代完善。

4 结论

本文从起落架系统研制流程活动、专业技术发展、产品结构等多个维度,建立了起落架系统五级技术体系,梳理了起落架系统关键技术项,规划了起落架系统使能体系文件,为起落架系统供应商研发体系建设与技术发展规划指明了方向,同时也为国内同行建立自身技术体系提供了参考路径。

AST

参考文献

[1] 高泽迺.飞机设计手册 第14册:起飞着陆系统设计[M].北

- 京:航空工业出版社,2002.
- Gao Zejiang. Aircraft design manual volume 14: landing gear system design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [2] 冯军. 大型民机起落架的发展趋势与关键技术[J]. 航空制造技术,2009(2):52-54,56.
- Feng Jun. Development trend and key technologies of landing gear of large civil aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology,2009(2):52-54,56. (in Chinese)
- [3] 安红辉. 飞机起落架落震试验技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- An Honghui. Study on the technology of landing gear drop tests [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.(in Chinese)
- [4] 李萍,周子彦,淦述荣. 大型客机起落架系统关键技术专利态势分析[C]//第六届中国航空学会青年科技论坛论文集(下册),中国航空学会,2014.
- Li Ping, Zhou Ziyang, Gan Shurong. Patent situation analysis of key technology in landing gear system of large passenger aircraft[C]//The 6th CSAA Youth Science and Technology Forum Collection, Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2014. (in Chinese)
- [5] 李京生,李军生. 大型客飞机载系统技术发展趋势[J]. 航空制造技术,2008(16):42-45.
- Li Jingsheng, Li Junsheng. Development trend of airborne equipment technology for large commercial aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(16): 42-45. (in Chinese)
- [6] 方忆平,杨韧. 国外航空机载系统发展历程及启示[J]. 国防科技工业,2013(3):64-65.
- Fang Yiping, Yang Ren. The development course and enlightenment of foreign aviation airborne system[J]. Defence Science Technology Industry,2013(3):64-65.(in Chinese)
- [7] 常凯,李胜军. 起落架系统多电技术应用及发展[J]. 航空科学技术,2014,25(7):1-5.
- Chang Kai, Li Shengjun. Application and development of more electrical technology in landing gear system[J]. Aeronautical Science & Technology,2014,25(7):1-5.(in Chinese)
- [8] 王道荫. 迈向21世纪的航空科学技术[M]. 北京:航空工业出版社,1994.
- Wang Daoyin. Aeronautics science and technology in the 21 century [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1994.(in Chinese)
- [9] 汤小平. 构建民用航空产品研制工程技术体系的探讨[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(4):67-68.
- Tang Xiaoping. Study on constructing engineering and technical system of commercial aviation product's research and development[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2010 (4): 67-68. (in Chinese)
- [10] 许赞. 航空技术体系构建的研究进展与思考[C]//2013年中国航空学会管理科学分会学术会议论文集, 中国航空学会, 2013.
- Xu Yun. Research progress and reflections on the construction of aviation technical architecture[C]//The 2013 Academic Conference Paper Collection of the Management Science Branch of the CSAA, Chinese Society of Aeronautics and Astronautics,2013. (in Chinese)
- [11] 凌云霞. 浅谈ATA 2200的编号方法[J]. 航空标准化与质量, 2008(5):41-43.
- Ling Yunxia. Study on the code rule of ATA 2200[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2008(5):41-43.(in Chinese)
- [12] 朱闯锋. 飞机起落架静强度虚拟试验技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.
- Zhu Chuangfeng. Study on the virtual test technology of static strength in aircraft landing gear[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008.(in Chinese)
- [13] 陈卫平. 基于多领域统一建模的飞机起落架系统的仿真与分析[D]. 武汉:华中科技大学,2009.
- Chen Weiping. Simulation and analysis of aircraft landing gear system based on unified modeling in multiple fields[D]. Wu hang: Huazhong University of Science and Technology, 2009. (in Chinese)
- (责任编辑 皮卫东)
- ### 作者简介
- 孟清河(1974—)男,学士,研究员级高级工程师。主要研究方向:起落装置制造技术。
- 冯广(1982—)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:起落装置设计技术。
- Tel:0731-82719825
- E-mail:fengguang572@163.com
- 金军(1964—)男,学士,研究员级高级工程师。主要研究方向:起落装置设计技术。

路红伟(1978-)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:起落装置设计技术。

冯全磊(1987-)男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机起落架适航技术与管理研究。

Study on the Technical Architecture of Landing Gear System

Meng Qinghe, Feng Guang*, Jin Jun, Lu Hongwei, Feng Quanlei

AVIC Landing Gear Advanced Manufacturing Co., Ltd., Changsha 410200, China

Abstract: The landing gear system technical architecture is one of the important part of aviation technical architecture. And also it is one of the important way of technology layout for landing gear company. This paper analyzed the specialties and products of landing gear, and established a network of LG system technical architecture, which considered the specialties, WBS and development activities. By analyzing and combing the landing gear technical architecture, a five level technology item of landing gear system was obtained. A way of company technical layout was put forwarded, which focused on key technology items. And also landing gear system enabling documentation was planned.

Key Words: landing gear system; technical architecture; key technology items; technical layout

Received: 2019-10-11; Revised: 2019-10-29; Accepted: 2019-11-20

*Corresponding author.Tel. : 0731-82719825 E-mail: fengguang572@163.com